

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА

В. П. БРАЙЛОВ

(Москва)

Основной целью оптимизации топливно-энергетического баланса (ТЭБ) страны или ее районов является определение оптимальных объемов производства различных видов топлива (энергии) и их наивыгоднейшего распределения между отдельными группами потребителей.

Предлагаемая модель предназначена для оптимизации ТЭБ района в условиях перспективного планирования. Ее особенностью является учет буферного потребления и хранения газа. Под буферным потреблением имеется в виду сезонное использование газа потребителями, работающими в основном на жидком (или твердом) топливе. Эти потребители, называемые буферными, переходят на использование газа в тот период, когда снижается расход топлива у потребителей, работающих только на газе.

Модель линейная, статическая. Нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) рассматриваются как источники топлива с заданными расположением и производительностью.

Существующее распределение топлива и энергии принимается неизменным.

Исходные положения. Рассматриваемый район потребления топлива и энергии делится на ряд более мелких районов (условимся называть их микрорайонами). Оптимизируются приросты потоков топлива и электроэнергии (следовательно, и количества добываемого топлива), идущие на покрытие потребности в электроэнергии, тепле и топливе рассматриваемых микрорайонов за период от исходного уровня до расчетного года. При этом находится также оптимальный элементарный вариант энергоснабжения. Под элементарным вариантом энергоснабжения в данном случае имеется в виду всякий возможный способ удовлетворения топливом или энергией производства заданной продукции от определенного источника энергоресурсов, отличающийся от других способов хотя бы одним из следующих признаков: а) размещением топливopерерабатывающих и генерирующих установок; б) видом энергоносителя, подводимого к потребителю энергии (электроэнергия, тепло или топливо); в) типом потребителей топлива и т. д.

За критерий оптимальности принимается минимум суммарных расчетных затрат [1].

Максимальная суточная производительность газопровода определяется количеством газа за «средние» сутки месяца с наибольшим потреблением.

При оценке затрат на добычу и магистральный транспорт буферного газа учитывается лишь та доля затрат, которая зависит от годовой выработки (потока), т. е. считается, что добыча и транспорт буферного газа не вызывают увеличения установленных мощностей в месторождении и газопроводах.

Все удельные затраты (на добычу, транспорт и т. п.) подсчитаны на единицу условного топлива в месторождении.

Заданные величины. 1) Максимально возможные приросты: годовой добычи топлива (кроме газа) — B_i ($i = 1, 2, \dots, m'$) и суточной добычи газа — B_i ($i = m' + 1, m' + 2, \dots, m$), где m' — число источников энергоресурсов, кроме газовых месторождений; 2) приросты годовой продукции j в каждом микрорайоне от исходного уровня до расчетного года Π_j ($j = 1, 2, \dots, n$), а для возможных потребителей газа так же и соответствующие графики потребления топлива по месяцам; 3) элементарные варианты энергоснабжения для каждой пары: источник — потребитель $p = 1, 2, \dots, w_{ij}$; 4) удельный расход условного топлива, приведенный к источнику энергоресурсов i — g_{ijp} . Кроме того, для газа считается заданным также его удельный расход — b_{ij} , к.п.д. распределительного транспорта η_{ij}^p и распределительного транспорта с учетом присоединения магистрального газопровода к газохранилищу η^{px} ; 5) отношение годового потребления топлива к максимальному суточному — h_{jp} (для возможных потребителей газа); 6) максимально возможные приросты: годовой добычи топлива (кроме газа) — B_i ($i = 1, 2, \dots, m'$) и суточной добычи газа ($i = m' + 1, m' + 2, \dots, m$), где m' — число источников энергоресурсов, кроме газовых месторождений; 7) максимально возможный активный объем подземного газохранилища в микрорайонах B_{ax} (для всех мест, где могут быть созданы подземные газохранилища); 8) коэффициенты попадания максимума потребления в максимум добычи газа α_{ij}^A и в максимум передачи его по магистральному газопроводу — α_{ijp}^M ; 9) удельные расчетные затраты на добычу (выработку) z_{ij}^A и на магистральный транспорт топлива z_{ijp}^M (кроме газа); 10) удельные расчетные затраты на транспортировку по распределительному транспорту z_{ijp}^p и в энергоиспользующие установки z_{ijp}^u (для всех видов топлива); 11) расчетные затраты на добычу и магистральный транспорт газа, разделенные (каждая в отдельности) на две составляющие: одна составляющая пропорциональна годовой добыче (или потоку) с соответствующими

коэффициентами пропорциональности $\mu_i^{\text{д}}$ и $\mu_{ijp}^{\text{м}}$, а другая — суточной добыче (потоку) с коэффициентами пропорциональности $\mu_i^{\text{д}}$ и $\nu_{ijp}^{\text{м}}$; 12) дополнительные затраты, связанные с работой потребителей на двух видах топлива при использовании сбросного газа и приходящиеся на единицу потребляемого газа (в условном топливе) — $z_j^{\text{п}}$; 13) расчетные затраты на единицу активного объема подземного газохранилища — $z^{\text{ха}}$ (для всех возможных мест сооружения таких хранилищ).

Решение задачи. Задача оптимизация ТЭБ разбивается на две части и решается соответственно при помощи двух моделей: основной и режимной. На первом этапе, в результате решения основной модели, определяется предварительное распределение топлива без учета возможных буферных потребителей и подземного хранения газа, выбирается элементарный вариант энергоснабжения, выявляются основные («круглогодичные») потребители газа, а также необходимые магистральные газопроводы и их производительность. В эту модель могут быть включены в качестве источников электроэнергии и атомные электростанции. В этом случае определяется также выработка электроэнергии на них по микрорайонам.

На втором этапе, в результате решения режимной модели, определяется оптимальное распределение дополнительных ресурсов газа, получаемых в результате повышения степени использования установленных мощностей в газопроводах и газовых промыслах за счет буферных потребителей или сооружения подземных газохранилищ, а также вызываемое этим перераспределение других видов топлива. Расположение, пропускная способность газопроводов, графики их загрузки основными потребителями, а также элементарный вариант энергоснабжения считаются заданными по результатам решения первого этапа.

Указанное разделение общей задачи является естественным, если рассматривать буферный газ как дополнительный ресурс.

В основной модели требуется: найти

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^{w_{ij}} c_{ijp} x_{ijp}$$

при следующих ограничениях

$$\sum_{j=1}^n \sum_{p=1}^{w_{ij}} x_{ijp} \leq B_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{p=1}^{w_{ij}} \lambda_{ijp} x_{ijp} = \Pi_j, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$x_{ijp} \geq 0$ для всех i, j, p .

Здесь x_{ijp} — искомый прирост годового (для газа — максимального суточного) потока условного топлива ($i = 1, 2, \dots, m$); для газа

$$c_{ijp} = h_j(\mu_i^{\text{д}} + \mu_{ijp}^{\text{м}} + z_{ijp}^{\text{р}} + z_{ijp}^{\text{п}}) + \alpha_i^{\text{д}} \nu_i^{\text{д}} + \alpha_{ijp}^{\text{м}} \nu_{ijp}^{\text{м}},$$

для остальных видов топлива

$$c_{ijp} = z_i^{\text{д}} + z_{ijp}^{\text{м}} + z_{ijp}^{\text{р}} + z_{ijp}^{\text{п}}.$$

Сформулированная выше задача является общей задачей линейного программирования. Однако она может быть сведена к ее частному случаю — распределительной

Таблица 1

i	j				B_i
	1	2			
1	$c_{111}\lambda_{111}$	$c_{112}\lambda_{112}$	$c_{113}\lambda_{113}$	$c_{121}\lambda_{121}$	B_1
2	$c_{211}\lambda_{211}$	$c_{212}\lambda_{212}$	—	$c_{221}\lambda_{221}$	B_2
Π_j	Π_1		Π_2		

задаче. Покажем это на простейшем примере ($n = m = 2$, $w_{11} = 3$, $w_{12} = 2$, $w_{12} = w_{22} = 1$) (табл. 1).

В табл. 1 первым трем столбцам соответствует одно условие — удовлетворение потребности Π_i (прочерк означает запрещенные поставки). Чтобы выполнить требование распределительной задачи (каждому столбцу должно соответствовать свое условие), введем фиктивный ресурс $B_3 = (\max w_{i1} - 1)\Pi_1 = 2\Pi_1$. Тогда расчетная матрица получит вид, соответствующий распределительной задаче:

Таблица 2

i	j				B_i
	1	2	3	4	
1	$c'_{11}\lambda'_{11}$	$c'_{12}\lambda'_{12}$	$c'_{13}\lambda'_{13}$	$c'_{14}\lambda'_{14}$	B_1
2	$c'_{21}\lambda'_{21}$	$c'_{22}\lambda'_{22}$	—	$c'_{24}\lambda'_{24}$	B_2
3	$c_{31}\lambda_{31}$	$c_{32}\lambda_{32}$	$c_{33}\lambda_{33}$	—	B_3
Π_j	Π'_1	Π'_2	Π'_3	Π'_4	

В табл. 2 $\Pi'_1 = \Pi'_2 = \Pi'_3 = \Pi_1$, $\Pi'_4 = \Pi_2$, $c_{31} = c_{32} = c_{33} = 0$, $\lambda_{31} = \lambda_{32} = \lambda_{33} = 1$; остальные значения c и λ совпадают с соответствующими величинами в табл. 1 ($c_{11} = c_{111}$ и т. д.). Решение второй задачи (табл. 2) совпадает с решением первой (табл. 1), так как добавление фиктивного («бесплатного») ресурса не вызывает изменения затрат и ограничения второй задачи обеспечивают выполнение ограничений первой задачи.

В режимной модели все потребности Π_j уменьшаются на величину, удовлетворяемую за счет «основного» газа. При этом потребители, использующие только газ, исключаются из расчетной матрицы. Дополнительно вводятся искусственные источники газа, ресурсы которых определяются возможным повышением степени использования пропускной способности магистральных газопроводов за счет выравнивания графиков их загрузки (в годовом разрезе). В расчетную матрицу для каждого потока основного газа вводятся два источника ресурсов. Ресурсы одного из них, соответствующие случаю выравнивания графика за счет буферных потребителей $B^{\text{буф}}$, определяются как разность между пропускной способностью газопровода и отбором газа основными его потребителями за тот период (летний), в течение которого считается возможным буферное потребление газа. Ресурсы другого источника, соответствующего случаю с использованием газохранилища B^x , определяются аналогичной разностью за весь год.

Возможны два варианта построения матрицы, при помощи которых производится оптимальный выбор между буферным потреблением и газохранилищем в рамках распределительной задачи.

Первый вариант представлен в табл. 3. В ней возможный буферный потребитель представлен в виде двух потребителей с объемами продукции, соответствующими летнему и зимнему периодам* — Π_4 и Π_5 .

Затраты $c_{11} = c_{12} = \mu_{11}^{\text{л}} + \mu_{11}^{\text{м}} + z_{11}^{\text{л}} + z_{11}^{\text{м}} + z_{11}^x$, где z_{11}^x — удельные расчетные затраты в газохранилище и связанные с ним газопроводы на единицу условного топлива (газа), определяемые по формуле $z_{11}^x = z_{11}^{\text{ах}}(B_{11}^{\text{ах}}/B^x)$. Здесь величина $B_{11}^{\text{ах}}$ устанавливается графически как необходимый активный объем газохранилища при полном использовании ресурса B^x за счет возможного буферного потребления. Коэффициенты $\lambda_{11} = \lambda_{12} = \eta_{11}^{\text{лх}}/b_{11}$. Затраты $c_{22} = \mu_{22}^{\text{л}} + \mu_{22}^{\text{м}} + z_{22}^{\text{л}} + z_{22}^{\text{м}} + z_{22}^x = \mu_{11}^{\text{л}} + \mu_{11}^{\text{м}} + z_{11}^{\text{л}} + z_{11}^{\text{м}} + z_{22}^x$.

В матрицу (табл. 3) введен фиктивный потребитель, у которого удельные затраты $c_{14} = c_{24} = 0$, а коэффициенты $\lambda_{14} = \Pi_4/B^x$ и $\lambda_{24} = \Pi_5/B^{\text{буф}}$. Здесь Π_4 может быть выбрано равным произвольному положительному числу, например, единице. Введение такого потребителя вызвано необходимостью соблюдения ограничения по максимально возможной величине дополнительного газа, который может быть ис-

* Возможно выделение и большего числа периодов.

пользован за счет выравнивания графика загрузки газопровода. Происходит ли это выравнивание за счет газохранилища или за счет буферных потребителей — в обоих случаях используется один и тот же источник дополнительного газа, определяемый «провалом» годового графика основных потребителей газа. В матрице этот источник подразделяется на два — B_1 и B_2 . Поэтому, чтобы избежать двукратного использования одного ресурса, вводится фиктивный потребитель, «отбирающий» излишние ресурсы. При $c_{14} = c_{24} = 0$ суммарные затраты не зависят от источника удовлетво-

Таблица 3

i	Возможный буфер- ный потребитель		Не буфер- ный по- требитель	Фиктив- ный по- требитель	Ресурсы
	Зима	Лето			
j					
1	2	3	4		
1	$c_{11}\lambda_{11}$	$c_{12}\lambda_{12}$	$c_{13}\lambda_{13}$	$c_{14}\lambda_{14}$	$B_1 (B^x)$
2	—	$c_{22}\lambda_{22}$	—	$c_{24}\lambda_{24}$	$B_2 (B^{б\psi\Phi})$
3	$c_{31}\lambda_{31}$	$c_{32}\lambda_{32}$	$c_{33}\lambda_{33}$	—	B_3
Π_j	$\Pi_1 (\Pi_3)$	$\Pi_2 (\Pi_{\Pi})$	Π_3	$\Pi_4 (\Pi_{\Phi})$	

рения потребности фиктивного потребителя. Принятые значения λ_{14} и λ_{24} обеспечивают выполнение следующего условия. Если в рассматриваемом микрорайоне оказывается более выгодным газохранилище и соответствующий ресурс B^x используется полностью, то ресурс $B^{yф}$ идет целиком на покрытие фиктивного потребителя. И наоборот, если оказывается более выгодным буферное потребление газа и соответствующий ресурс $B^{yф}$ используется полностью, то ресурс B^x закрывается для всех реальных потребителей.

Анализ различных возможных случаев при решении задачи, представленной в табл. 3, показывает, что не всегда суммарные расчетные затраты, соответствующие полученному решению, оказываются подсчитанными правильно. В рассматриваемом варианте построения матрицы это может иметь место, если для возможного буферного потребителя окажется самым выгодным буферное потребление газа, а ресурс B^x в свою очередь выгоднее ресурса B_3 . В этом случае может быть получено решение, в котором потребность Π_3 будет полностью или частично удовлетворяться за счет B^x , а $\Pi_л$ — за счет $B^{yф}$, что будет означать перевод потребителя на газ в течение всего года за счет газохранилища. Однако в этом случае затраты на газохранилище будут учтены не полностью, и в то же время будут учтены дополнительные затраты, связанные с работой на двух видах топлива, которые в данном случае не будут производиться. В связи с этим может возникнуть необходимость в повторном расчете режимной модели с откорректированными значениями удельных затрат (c_{11}'), получаемых из условия

$$c_{11}'x_{11}^0 + c_{22}^0x_{22}^0 = c_{11}(x_{11}^0 + x_{22}^0), \dots \quad (1)$$

где x_{11}^0 и x_{22}^0 — полученные при решении основной модели потока топлива.

Второй вариант матрицы отличается от первого тем, что в клетке $i = 1, j = 2$ ставится дополнительный запрет и вместо c_{11} ставится c_{11}' , определяемое из условия (1) при $x_{11}^0 = \Pi_1 / \lambda_{11}$ и $x_{22}^0 = \Pi_2 / \lambda_{22}$. При таком построении матрицы решение $x_{11}^0 = \Pi_1 / \lambda_{11}$, $x_{22}^0 = \Pi_2 / \lambda_{22}$ означает, что для данного потребителя является выгодным использовать газохранилище для круглогодичного снабжения газом данного потребителя. Условие (1) выполняется. Решение $x_{11}^0 = 0$, $x_{22}^0 = \Pi_2 / \lambda_{22}$ означает выгодность использования буферного газа. Решение

$$0 < x_{11}^0 \leq \frac{\Pi_1}{\lambda_{11}}, \quad 0 < x_{22}^0 \leq \frac{\Pi_2}{\lambda_{22}} \quad \left(\text{кроме } x_{11}^0 = \frac{\Pi_1}{\lambda_{11}}, \quad x_{22}^0 = \frac{\Pi_2}{\lambda_{22}} \right)$$

требует корректировки затрат c_{11} и повторного решения.

В работе было отдано предпочтение второму варианту, который в проведенных расчетах реже вызывал корректировку затрат и повторное решение. Окончательное решение этого вопроса должно выявиться в результате дальнейших практических расчетов.

В случае, если необходимо учесть ограничение по максимально возможному активному объему подземного газохранилища, вносятся следующие изменения. Ресурс B^x заменяется на $\bar{B}^{ax}$, удельные затраты $c_{11}(=c_{12})$ умножаются на коэффициент $\gamma = B^x / \bar{B}^{ax}$. Значения $\lambda_{11}(=\lambda_{12})$ делятся на γ . В этом случае в качестве неизвестных в строке матрицы, соответствующей ресурсу B^x , будут служить доли активного объема хранилища, приходящиеся на рассматриваемых потребителей. Для перехода к годовым потокам газа полученные в решении значения неизвестных должны быть умножены на коэффициент γ .

С учетом отмеченного выше может быть составлена расчетная матрица режимной модели, соответствующая распределительной задаче линейного программирования.

Для опробования предлагаемой методики выполнены расчеты по оптимизации ТЭБ экономического района на 1980 г.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная методика дает возможность производить оптимизацию ТЭБ района с учетом буферного потребления газа и подземных газохранилищ.

2. Введение в расчетную модель дополнительной режимной части, связанной с учетом буферного газа и газохранилища, не вызывает увеличения размера решаемой распределительной задачи на ЭВМ, но может вызвать необходимость в повторных корректировочных расчетах.

3. Предлагаемая модель может быть использована для оптимизации ТЭБ отдельных районов страны, а также для оптимизации ТЭБ страны в целом при наличии достаточно мощной и надежной вычислительной машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений и новой техники в народном хозяйстве СССР. М., Изд-во АН СССР, 1963.
2. В. П. Браилов, В. И. Денисов, А. Г. Захарин. Формулировка задачи оптимизации системы топливо- и энергоснабжения района. В сб. Технико-экономические расчеты в энергетике. М., «Наука», 1965.

Поступила в редакцию
26 V 1966